

ADAMS POSTPROCESSOR – BODE PLOT KULLANIMI

HAZIRLAYAN

Hüseyin Umutcan Şanlı
Mekanik Simülasyon Aday
Mühendisi

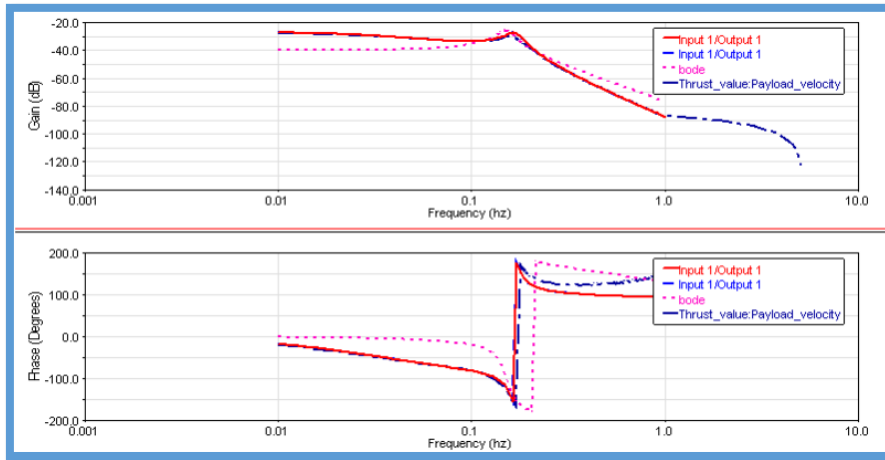
Tarih: 13/05/2024

1. GİRİŞ

Bode diyagramları, LTI (Linear Time-Invariant) sistemlerin frekans cevabını incelemeye ve sistemin değişen frekanslara göre cevabını görselleştirmede kullanılmaktadır.

Bode diyagramları, büyüklük (kazanç) ve faz diyagramları olarak iki ana kısımdan oluşmaktadır. Büyüklük diyagramı, sistem girdisine göre alınan çıkış sinyalinin şiddetinin frekansa göre nasıl değiştiğini gösterirken; faz diyagramı, sistem girdisi ve çıktısı arasındaki faz farkının, değişen frekans değerlerine göre nasıl değiştiğini göstermektedir. Her iki diyagram da logaritmik ölçekleme kullanılmaktadır.

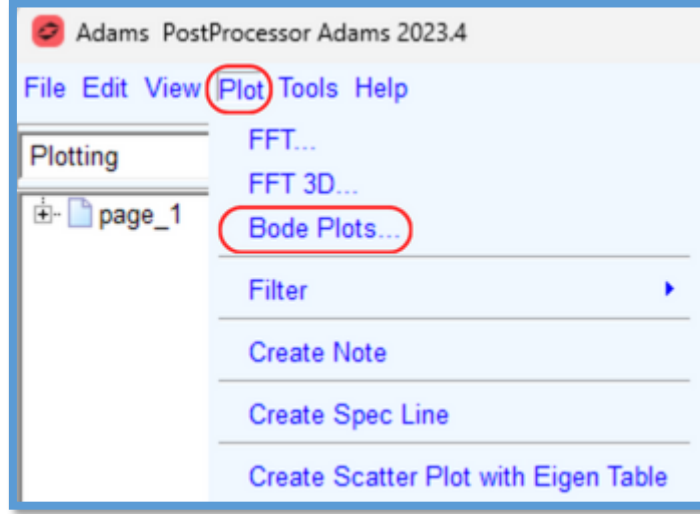
Karmaşık frekans cevabına sahip sistemlerin incelenmesini oldukça kolaylaştırması ve müdahale edilebilir bir hale getirmesi sebebiyle sıklıkla tercih edilmektedir. Bode diyagramları sayesinde, kesim frekansları ve faz marjinleri gibi sistem karakteristikleri kolayca belirlenebilir. Sunduğu avantajlar nedeniyle, Bode diyagramları elektronik, uzay ve havacılık, otomotiv sistemleri gibi çeşitli alanların yanı sıra, sinyal işleme ve kontrol geri besleme döngüsü içeren her alanda aktif bir şekilde kullanılmaktadır.



Şekil 1 – Adams PostProcessor Bode Diyagramı Örneği

2. ADAMS POSTPROCESSOR – BODE PLOTS

Adams PostProcessor ekranında, “Plot” sekmesi altından “Bode Plots” aracına (Şekil 2) erişilebilir. Bu seçenek ile Bode diyagramının oluşturulması için yedi farklı yöntemden yararlanılabilmektedir.

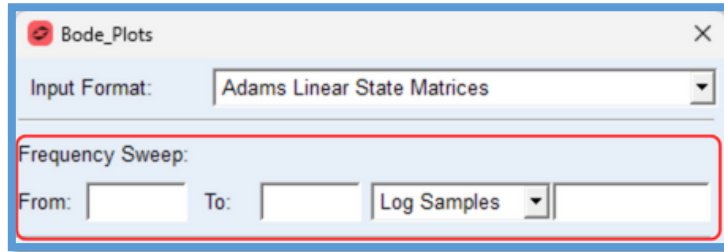


Şekil 2 – AdamsPostProcessor içerisinde Bode Plot Tool lokasyonu

Bode Plots sekmesi altında yer alan “Input Format” bölümünden, Bode diyagramı oluşturmak için farklı yöntemlerden yararlanılabilir:

- Adams Linear State Matrices
- Adams Matrices
- Linear State Equation
- TFSISO
- Transfer Function Coefficients
- Time Domain Measures
- Time Domain Result Set Components

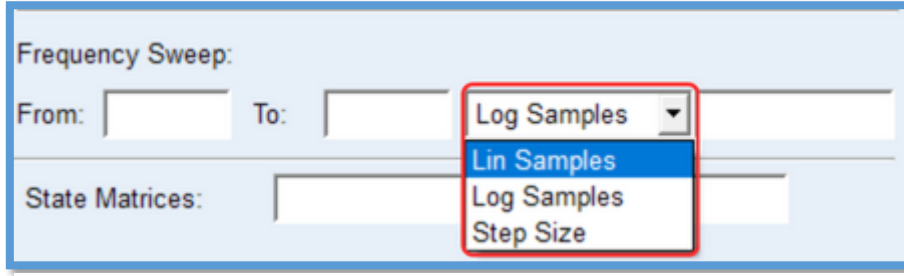
Seçilen yöntemden bağımsız olarak “Frequency Sweep” seçeneği ile başlangıç frekans değeri (From) ve bitiş frekans değeri (To) tanımlanabilir.



Şekil 3 – Frequency Sweep Lokasyonu

Başlangıç ve bitiş frekanslarına kadar olan aralığın nasıl bölüneceği ya da nasıl örnekleneceğine dair üç farklı yöntem (Şekil 4) arasından seçim yapılabilir:

- **Log Samples:** Bu seçenek ile belirlenen frekans aralığı logaritmik olarak bölünür. Frekans aralığının görece geniş olduğu durumlarda tercih edilir. Bu yöntem ile düşük ve yüksek frekanslarda inceleme yapılabilir.
- **Lin Samples:** Bu seçenek ile belirlenen frekans aralığı lineer (tüm frekans aralıklarının büyüklükleri birbirine eşittir) olarak bölünür. Bu nedenle, belirli ve görece dar bir frekans aralığı incelenecekse bu metodun seçilmesi tavsiye edilmektedir.
- **Step Size:** Bu seçenek ile belirlenen frekans aralığında yer alan her frekans noktası arasındaki mesafenin artımı belirlenebilir. Tanımlanan frekans aralığının çözünürlüğü üzerinde daha fazla inceleme olanağı sağlamaktadır.



Şekil 4 – Frekans Aralığı Belirleme Yöntemleri

2.1. STATE – SPACE Yaklaşımı:

Input Format yöntemlerinden ilk üç tanesi, “*State – Space*” yaklaşımını temel alarak Bode diyagramı oluşturabilmektedir. *State – Space* yaklaşımının temelini oluşturan genel denklemler ve ilgili matris tanımlamalarını aşağıda verilmiştir:

- **State Equation:** $\dot{X} = AX + BU$

Bu denklem, sistemin mevcut durum değişkenlerinin (X) ve girdilerinin (U) zaman içindeki değişim hızını (\dot{X}) açıklamaktadır. “A” matrisi (State Transition Matrix), sistemin zaman içindeki değişimini tanımlarken, “B” matrisi (Input Matrix) girdilerin sistemin durumları üzerindeki etkisini göstermektedir.

- **Output Equation:** $Y = CX + DU$

Bu denklem ise sistemin çıktılarını (Y) sistemin mevcut durumları (X) ve girdileri (U) ile ilişkilendirmektedir. “C” matrisi (Output Matrix), durum değişkenlerinin çıktılar üzerindeki etkisini belirtirken, “D” matrisi (Feedforward Matrix) girdilerin doğrudan çıktılara olan etkisini tanımlar.

Genel denklemde ve Adams içerisinde yer alan matris tanımlamaları şu şekildedir:

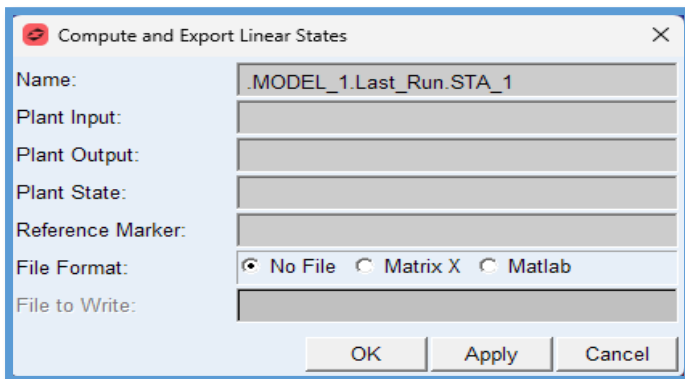
- **X (State Array):** Sistemin durum değişkenlerini içeren vektördür. Sistemin herhangi bir zaman dilimindeki durumunu tam olarak tanımlayabilen minimum sayıda değişkenleri ifade etmektedir.

- **U (Input Array):** Sisteme dışarıdan uygulanan girdileri içeren vektördür. Bu girdiler, sistemin davranışını etkileyen dış faktörlerdir.
- **Y (Output Array):** Sistemin çıktılarını, yani sistem davranışını içeren vektördür. Bu çıktılar, sistem hakkında bilgi edinmek veya sistemi kontrol etmek için kullanılır.
- **IC (Initial Condition Array):** Sistemin başlangıç koşullarını tanımlayan vektördür. Simülasyon veya analiz başlamadan önceki sistemin durumunu belirtir.
- **A (State Transition Matrix):** Sistemin durum değişkenlerinin zaman içinde nasıl değiştiğini gösteren matristir.
- **B (Input Matrix):** Girdilerin sistemin durum değişkenleri üzerindeki etkisini tanımlayan matristir.
- **C (Output Matrix):** Sistemin durum değişkenlerinin çıktılar üzerindeki etkisini gösteren matristir.
- **D (Feedforward Matrix):** Girdilerin doğrudan çıktılara olan etkisini tanımlayan matristir.

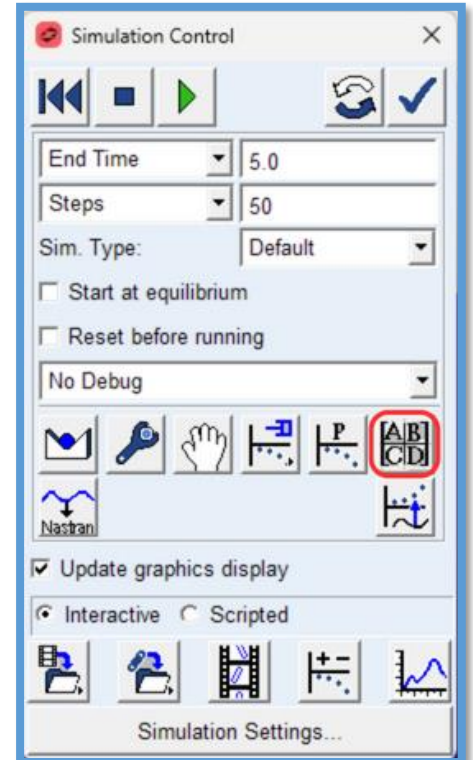
2.2. ADAMS LINEAR STATE MATRICES

İncelenmekte olan modelin, Adams içerisinde lineer hale getirilerek State – Space matrislerinin elde edilmesi sürecidir. Linerize etme işlemi, doğrusal olmayan sistemlerin belirli bir çalışma noktası çevresinde lineer model yaklaşımı yapılmasını ifade eder. Bu işlem sonucunda elde edilen matrisler, State – Space formunda olup, bu form birincil dereceden diferansiyel denklemlerle ilişkilendirilen giriş, çıkış ve durum (state) değişkenlerini içerir. Bu metoda devam etmeden önce, Adams içerisinde lineerleştirme işlemi yapılarak durum matrisleri elde edilmesi gerekmektedir. Bu işlem için “Simulation Control” penceresinden “Linear State” matrislerinin hesaplanması işlemi gerçekleştirilebilir (Şekil 5).

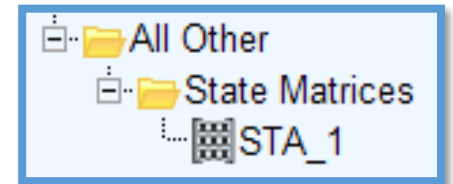
Açılan pencereden “Plant Input”, “Plant Output” ve varsa “Plant State” değişkenleri seçilir (Şekil 6). Bu değişkenlerin seçimi tamamlandıktan sonra “Linear State” matrisleri hesaplanmış olur.



Şekil 6 – Linear State Matrix Hesaplama Arayüzü

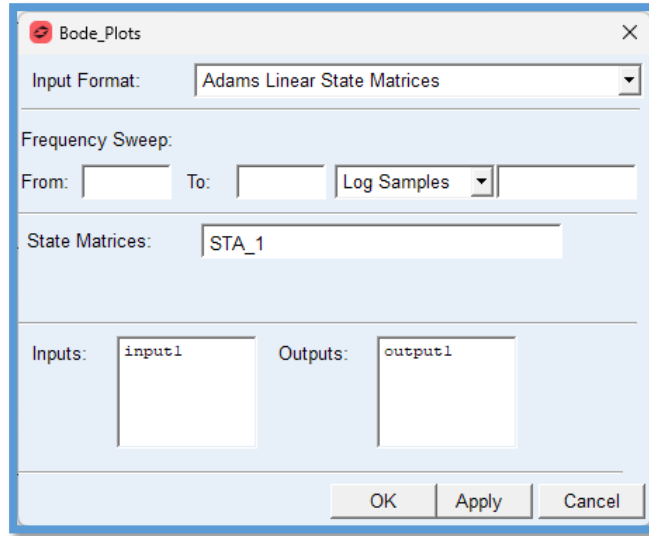


Şekil 5 – Linear State Matris Hesaplama Seçeneği



Şekil 7 – State Matrices

Elde edilen durum matrisi kullanılarak Bode diyagramı oluşturabilir. *Bode Plot* penceresinde yer alan “*State Matrices*” bölümünden hesaplanan matris seçilerek (Şekil 8) ilgili girdi ve çıktılar alt kısımda “*Inputs*” ve “*Outputs*” olarak listelenebilir. Ardından çizim işlemi başlatılabilir.



Şekil 8 – Adams Linear State Matrices Metoduyla Bode Plot Oluşturma

Bu süreç, Adams kullanıcılarına, modelin dinamik davranışını frekans düzlemi üzerinde analiz etme olanağı sunar. Linerize etme ve State – Space matrislerinin elde edilmesi, karmaşık mekanik sistemlerin davranışlarının daha iyi anlaşılmasına ve kontrol sistemlerinin tasarımında önemli bir adım teşkil eder.

2.3. ADAMS MATRICES

Bu yöntem, *Adams Linear State Matrices* yaklaşımı ile benzer matrisleri içermektedir. Ancak, *Adams Linear State* matrislerinin aksine, bu yaklaşımda matris tanımlamaları kullanıcı tarafından “*Design Elements*” olarak yapılmaktadır. “*State*”, “*Input*”, “*Output*” ve “*Feedthrough*” matrisleri kullanıcı tarafından tanımlanabilir ve metod kullanımında ilgili matrisler seçilebilir:

- **A (State Matrix):** Sistem dinamiğini tarif ederek, durum değişkenlerinin türevlerini güncel durum değişkenleri ve girdiler ile ilişkilendirir.
- **B (Input Matrix):** Girdinin sistem durumu üzerindeki etkisini gösterir.
- **C (Output Matrix):** Durum değişkenlerinin sistem çıktısı üzerindeki etkisini gösterir.
- **D (Feedthrough Matrix):** Sistem girdisi ile çıktısını doğrudan ilişkilendirir.

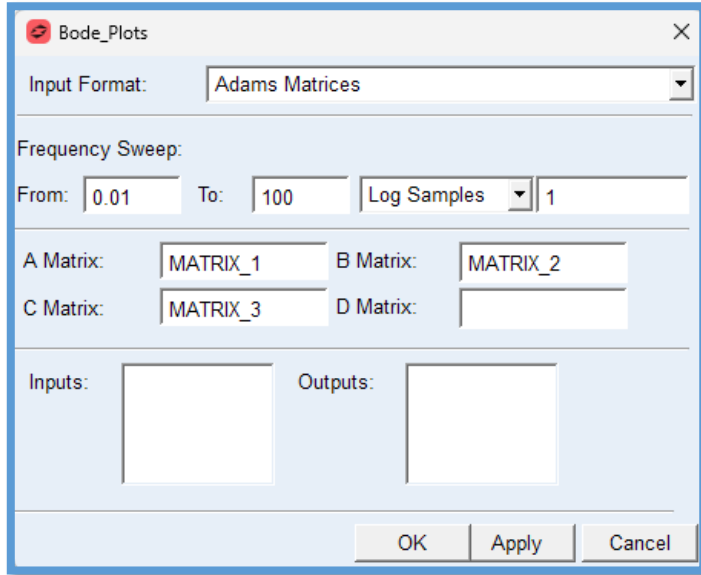
Matris oluşturmak için *Elements* sekmesinde bulunan *Data Elements* kısmı içerisinde yer alan “*Matrix Tool*” (Şekil 9) seçilebilir.



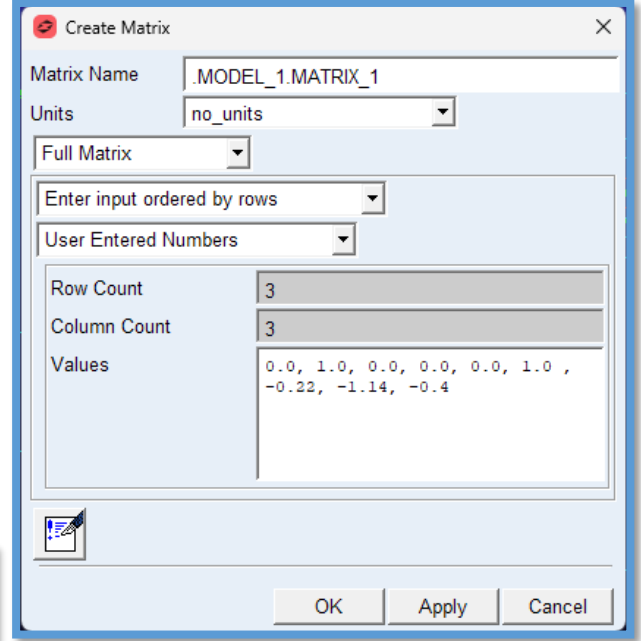
Şekil 9 – Matrix Oluşturma Tool Lokasyonu

Bu araç yardımıyla oluşturulan 3x3'lük bir matris örneği:

$$\begin{bmatrix} 0.0 & 1.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 \\ -0.22 & -1.14 & -0.4 \end{bmatrix}$$



Şekil 11 – Adams Matrices Metoduyla Bode Plot Oluşturma



Şekil 10 – Örnek Matrix Oluşturumu

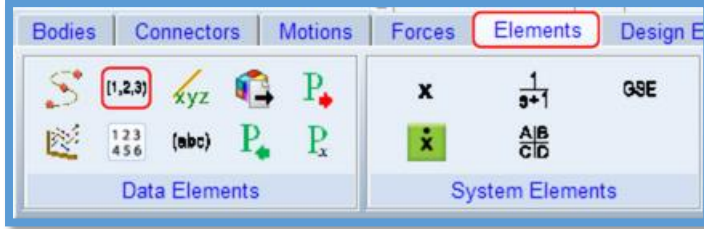
➤ İlgili matrisler tanımlandıktan (Şekil 10) sonra çizim işlemine devam edilir. Bu işlem için tanımlanan matrisler ilgili yerlere girilir ve sonrasında Bode diyagramı elde edilir.

2.4. LINEAR STATE EQUATION (LSE)

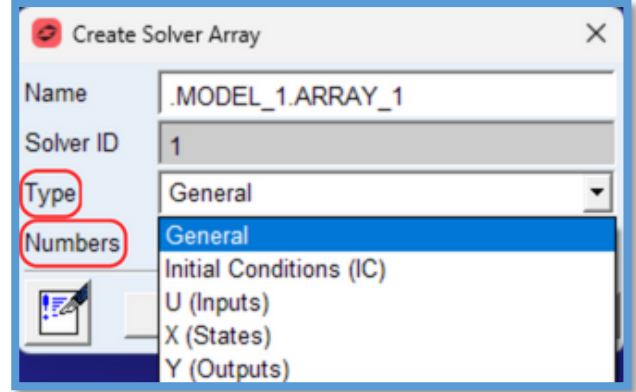
Bu yöntem, Adams içerisinde önceden tanımlanmış olan veya *Data Elements* sekmesinden tanımlanabilecek olan Linear State denklemlerinin kullanımını içermektedir. *Linear State Equation* metodunun içerisinde sekiz farklı girdi bulunur. Bu girdiler, *Data Elements* sekmesinden tanımlanan dizi (array) verilerini girdi olarak kullanmaktadır. Tüm bu tanımlamaların ardından aşağıdaki denklem ile "*Linear State Equation*" elde edilebilmektedir.

- $\dot{X} = AX + BU$
- $Y = CX + DU$

Data Elements içerisinde "Array" tanımlamak üzere ilgili araç (Şekil 12) seçildikten sonra, istenilen değerler ilgili "Array" tipi seçilip (Şekil 13) ilgili alana girilerek bu işlem gerçekleştirilir.

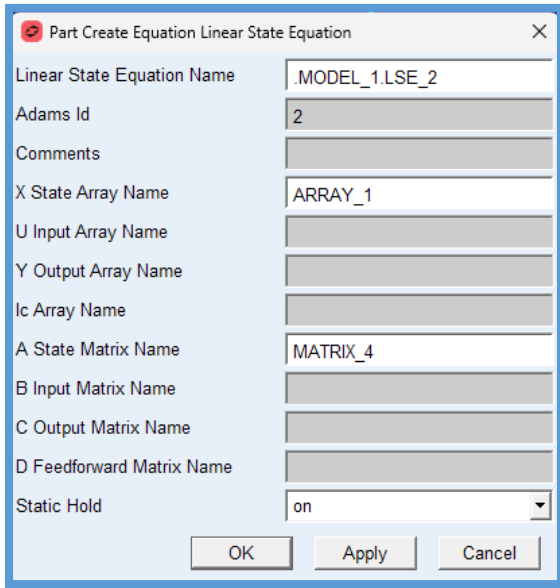


Şekil 12 – Array Oluşturma Tool Lokasyonu

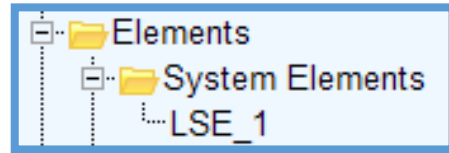


Şekil 13 – Array "Type" Seçenekleri

Oluşturulan diziler (array), Linear State Equation içerisinde tanımlanarak kullanılabilir (Şekil 14).

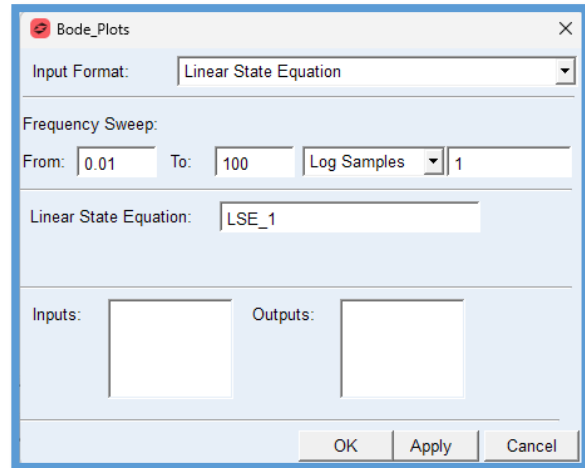


Şekil 14 – LSE Oluşturma Arayüzü



Şekil 15 – LSE Lokasyonu

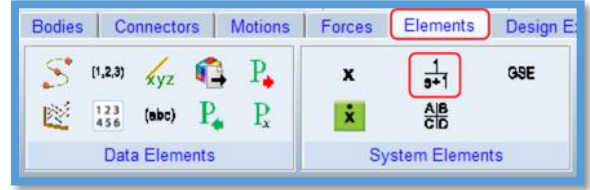
➤ Elde edilen *Linear State Equation* kullanılarak Adams PostProcessor içerisinde Bode diyagramı çizdirilebilir (Şekil 16).



Şekil 16 – Linear State Equation Metoduyla Bode Diyagramı Oluşturma

2.5. TFSISO

Bu yöntem, Adams içerisinde yer alan veya kullanıcı tarafından tanımlanabilecek, sistemin transfer fonksiyonunun kullanılmasıyla Bode diyagram çizimini sağlamaktadır. Bode diyagramı için gerekli olan transfer fonksiyonunu tanımlamak için *System Elements* sekmesi altında bulunan “*Create Transfer Function*” seçeneği (Şekil 17) kullanılabilir.

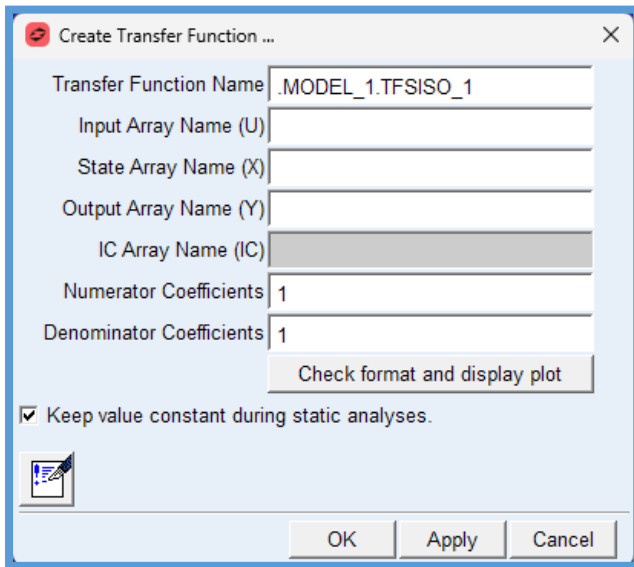


Şekil 17 – Transfer Fonksiyonu Oluşturma Seçeneği

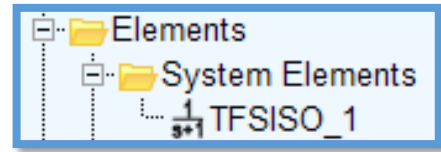
Transfer fonksiyonu tanımlama işlemi (Şekil 18), “*Input*”, “*State*”, “*Output*” ve “*IC*”, dizi tanımlamalarıyla yapılabilir veya doğrudan istenilen fonksiyonun pay ve payda katsayıları tanımlanarak da yapılabilmektedir. “*U*”, “*X*”, “*Y*” ve “*IC*” için diziler, *Linear State Equation* metoduna benzer bir şekilde tanımlanmaktadır.

“*Check format and display plot*” seçeneğinden, tanımlanan transfer fonksiyonunun istenilen frekans aralığında büyüklük (magnitude), faz (phase), imajiner (Im) ve gerçek (Re) çizimleri kontrol edilebilmektedir.

“*Keep value constant during static analyses*” seçeneği, Adams Solver’ın statik ve quasi-statik simülasyonlar için transfer denklemini sabit tutulup tutulmayacağını belirtmektedir.

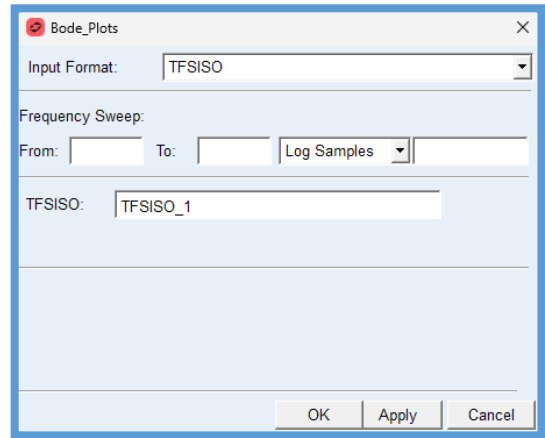


Şekil 18 – TFSISO Oluşturma Penceresi



Şekil 19 – Model Ağacında TFSISO

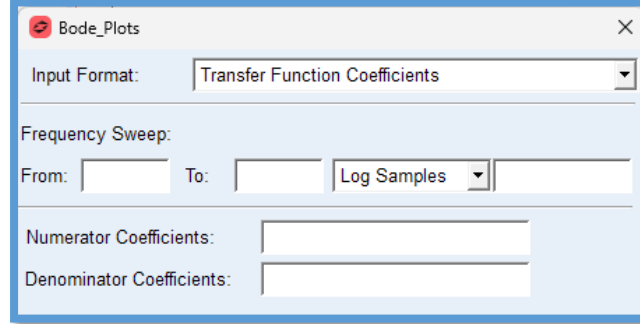
➤ Elde edilen “*TFSISO*” tipi transfer fonksiyonu kullanılarak Adams PostProcessor içerisinde Bode diyagramı çizdirilebilir (Şekil 20).



Şekil 20 – TFSISO Metoduyla Bode Plot Oluşturma

2.6. TRANSFER FUNCTION COEFFICIENTS

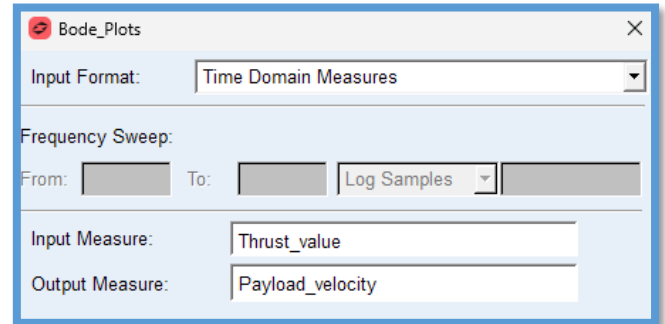
Bu yöntem, önceden tanımlanmış bir transfer fonksiyonuna ihtiyaç duymadan, doğrudan transfer fonksiyonunun pay ve payda katsayılarının girilmesiyle Bode diyagramı çizdirilmesine olanak sağlamaktadır.



Şekil 21 – Transfer Function Coefficients Metoduyla Bode Plot Oluşturma

2.7. TIME DOMAIN MEASURES

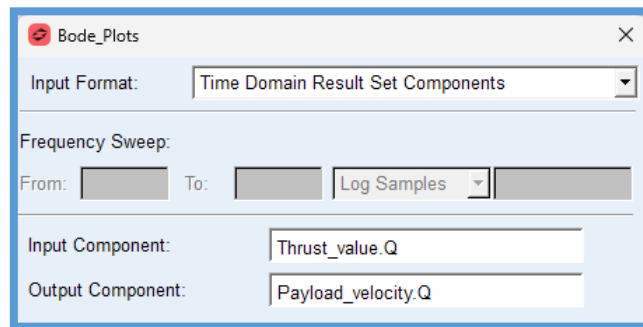
Bu yöntem, Adams içinde tanımlı zamana bağlı ölçümlerin (measures) kullanımıyla Bode diyagramı oluşturulmasını sağlamaktadır. *Input* ve *Output* ölçümlerin belirlenmesiyle Bode Diyagramı elde edilebilir. Zamana bağlı metodların kullanımında Adams Postprocessor, girdi ve çıktılara FFT (Fast Fourier Transform) yaklaşımını uygulayarak frekans düzlemine taşıyabilmekte ve transfer fonksiyonu tanımı üzerinden Bode Diyagramı çizimini gerçekleştirebilmektedir.



Şekil 22 – Time Domain Measures Metoduyla Bode Plot Oluşturma

2.8. TIME DOMAIN RESULTS SET COMPONENTS

Bu yöntem, Adams içinde simülasyon sonucu elde edilen "Result Set Components" içerisinde girdi ve çıktılardan seçilmesiyle Bode diyagramı oluşturulmasını sağlamaktadır.



Şekil 23 – Time Domain Result Set Components Metoduyla Bode Plot Oluşturma

3. REFERANSLAR

- i. Adams 2023.4 Help Documentation